

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP 2004/010556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl¹ H01L21/28, H01L33/00, H01L21/338, H01L29/812

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl¹ H01L21/28, H01L33/00, H01L21/338, H01L29/812, H01S5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Japanese Utility Model Gazette 1922-1996, Japanese Publication of Unexamined Utility Model Applications 1971-2004, Japanese Registered Utility Model Gazette 1994-2004, Japanese Gazette Containing the Utility Model 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

IEEE Xplore, Web of Science

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1249873 A2 (Kabushiki Kaisha Toshiba) 2002.10.16, Paragraphs [0040], [0041], [0053], Figure 2 & US 2002/0163302 A1, Paragraphs [0063], [0064], [0076], Figure 2 & JP 2002-314142 A, Paragraphs [0042], [0043], [0055], Figure 2	1-7
A		8-11
X	JP 2003-31895 A (Sharp Corporation) 2003.01.31, Paragraphs [0067], [0068], [0075], Figure 2 (Family: none)	1-7
A		8-11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

09.08.2004

Date of mailing of the international search report

24. 8. 2004

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Ken HASEYAMA

Telephone No. +81-3-3581-1101 Ext. 3462

4M

9171

22.9.2004

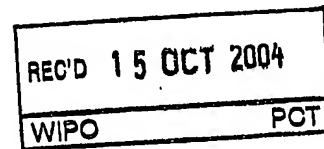
日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 7月16日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-197927
[ST. 10/C]: [JP2003-197927]



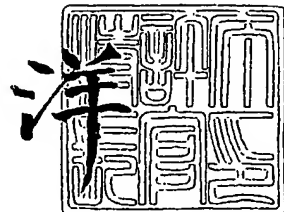
出 願 人
Applicant(s): 昭和電工株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願

【整理番号】 1034113

【提出日】 平成15年 7月16日

【あて先】 特許庁長官 今井 康夫 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明の名称】 n 形 I I I 族窒化物半導体のための n 形オーミック電極
、それを備えた半導体発光素子、及び n 形オーミック電
極の形成方法

【請求項の数】 11

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県秩父市大字下影森 1 5 0 5 番地 昭和電工株式会
社内

【氏名】 宇田川 隆

【特許出願人】

【識別番号】 000002004

【氏名又は名称】 昭和電工株式会社

【代理人】

【識別番号】 100099759

【弁理士】

【氏名又は名称】 青木 篤

【電話番号】 03-5470-1900

【選任した代理人】

【識別番号】 100077517

【弁理士】

【氏名又は名称】 石田 敬

【選任した代理人】

【識別番号】 100087413

【弁理士】

【氏名又は名称】 古賀 哲次

【選任した代理人】

【識別番号】 100093665

【弁理士】

【氏名又は名称】 蛭谷 厚志

【選任した代理人】

【識別番号】 100082898

【弁理士】

【氏名又は名称】 西山 雅也

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 209382

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0200971

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体のためのn形オーミック電極、それを備えた半導体発光素子、及びn形オーミック電極の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層の表面に接触させて設けるn形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体用途のn形オーミック（Ohmic）電極であって、該n形オーミック電極層をアルミニウム（元素記号：Al）とランタン（元素記号：La）の合金またはランタンから構成したことを特徴とするn形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体のためのn形オーミック電極。

【請求項2】 n形オーミック電極層中のランタンの含有率が、n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層に接触する面において10質量%以上であることを特徴とする請求項1に記載のn形オーミック電極。

【請求項3】 n形オーミック電極層中のランタンの含有率が、n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層との接合界面から30nm以上離れた領域で10質量%未満であることを特徴とする請求項2に記載のn形オーミック電極。

【請求項4】 n形オーミック電極層のn形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層に接触する面と反対の面がアルミニウムから構成されていることを特徴とする請求項3に記載のn形オーミック電極。

【請求項5】 結晶基板の一表面上に設けられたn形のⅢⅢⅢ族窒化物半導体層及びp形の化合物半導体層と、該n形及びp形の化合物半導体層との中間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック（Ohmic）接触性電極を設けて構成される半導体発光素子に於いて、上記のn形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層に接して設けるn形オーミック電極がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項6】 n形オーミック電極が、n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層に接触する面側がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成され、その反対面側がアルミニウム層から構成されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体発光素子。

【請求項7】 n形オーミック電極が、n形ⅢⅢⅢ族窒化物半導体層との接

合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層から構成されていることを特徴とする請求項5または6に記載の半導体発光素子。

【請求項8】 n形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2アルミニウム合金（組成式： LaAl_2 ）を原料として形成することを特徴とするn形オーミック電極の形成方法。

【請求項9】 n形III族窒化物半導体層を300℃以下として、n形III族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層からn形オーミック電極を形成することを特徴とする請求項8に記載のn形オーミック電極の形成方法。

【請求項10】 結晶基板の一表面上に設けられたn形のIII族窒化物半導体層及びp形の化合物半導体層と、該n形及びp形の化合物半導体層との間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック（Ohmic）接触性電極を設ける半導体発光素子の製造方法において、上記n形III族窒化物半導体層に接して設けるn形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2アルミニウム合金（組成式： LaAl_2 ）を原料として形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

【請求項11】 n形III族窒化物半導体層を300℃以下として、n形III族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層からn形オーミック電極を形成することを特徴とする請求項10に記載の半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、n形のIII族窒化物半導体層の表面に接触させて設けるn形オーミック電極、それを備えた半導体発光素子及びn形オーミック電極の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、例えば、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x + y + z = 1$) で表記されるIII族窒化物半導体は、青色帯或いは緑色帯の短波長可視光を出射する半導体発光素子にあって、n形クラッド (clad) 層等の障壁層を構成するために利用されている (例えば、非特許文献1参照。)。また、高電子移動度電界効果型トランジスタにあって、電子供給層をn形窒化アルミニウム・ガリウム (組成式 Al_xGa_yN : $0 \leq X \leq 1$) から構成する例がある (例えば、非特許文献1参照。)。発光ダイオード (英略称: LED) 或いはレーザダイオード (英略称: LD) 等の半導体発光素子は、上記のn形III族窒化物半導体層の表面に接触させてn形オーミック接触性電極 (n形オーミック電極) を設けて作製される。また、電界効果型トランジスタ (英略称: FET) は、n形III族窒化物半導体からなる電子供給層或いは能動層の表面に例えば、直接、n形オーミック電極を接触させて設けて作製されている。

【0003】

n形III族窒化物半導体についてのn形オーミック電極は、従来では、例えば、チタン (元素記号: Ti) (例えば、特許文献1参照。)、または、アルミニウム (元素記号: Al) からn形オーミック電極を構成する例が開示されている (例えば、特許文献2参照。)。

【0004】

【特許文献1】

特許第2783349号明細書

【特許文献2】

特開平7-45867号公報

【非特許文献1】

赤崎 勇編著、「III-V族化合物半導体」、初版、(株) 培風館

、1994年5月20日、13章

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、 n 形 III 族窒化物半導体層に従来の金属材料から構成された n 形オーミック電極を設けて成る化合物半導体 LED にあつては、順方向電圧（所謂、 V_f ）の更なる低減が望まれている。また、FET にあつては、熱抵抗の増大に因る素子特性の劣化を抑制するために更なるドレイン（ $d r a i n$ ）抵抗の低減が望まれている。化合物半導体発光素子或いは FET の特性向上には、従つて、 n 形 III 族窒化物半導体について、低い接触抵抗をもたらす材料から n 形オーミック電極を構成する必要がある。本発明では、特に、化合物半導体発光素子の特性向上を果たすための n 形オーミック電極、それを備えた化合物発光素子、及びその n 形オーミック電極の形成方法を提供する。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明は次の構成からなる。

(1) n 形 III 族窒化物半導体層の表面に接触させて設ける n 形 III 族窒化物半導体用途の n 形オーミック（ $O h m i c$ ）電極であつて、該 n 形オーミック電極層をアルミニウム（元素記号： $A l$ ）とランタン（元素記号： $L a$ ）の合金またはランタンから構成したことを特徴とする n 形 III 族窒化物半導体のための n 形オーミック電極。

(2) n 形オーミック電極層中のランタンの含有率が、 n 形 III 族窒化物半導体層に接触する面において 10 質量%以上であることを特徴とする上記 (1) に記載の n 形オーミック電極。

(3) n 形オーミック電極層中のランタンの含有率が、 n 形 III 族窒化物半導体層との接合界面から 30 nm 以上離れた領域で 10 質量%未満であることを特徴とする上記 (2) に記載の n 形オーミック電極。

(4) n 形オーミック電極層の n 形 III 族窒化物半導体層に接触する面と反対の面がアルミニウムから構成されていることを特徴とする上記 (3) に記載の n 形オーミック電極。

【0007】

(5) 結晶基板の一表面上に設けられた n 形の III 族窒化物半導体層及び p 形の化合物半導体層と、該 n 形及び p 形の化合物半導体層との中間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック (Ohmic) 接触性電極を設けて構成される半導体発光素子に於いて、上記の n 形 III 族窒化物半導体層に接して設ける n 形オーミック電極がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

(6) n 形オーミック電極が、n 形 III 族窒化物半導体層に接触する面側がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成され、その反対面側がアルミニウム層から構成されていることを特徴とする上記 (5) に記載の半導体発光素子。

(7) n 形オーミック電極が、n 形 III 族窒化物半導体層との接合界面においてランタンの含有率が 10 質量%以上であり、その接合界面から 30 nm 以上離れた領域でランタンの含有率が 10 質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層から構成されていることを特徴とする上記 (5) または上記 (6) に記載の半導体発光素子。

【0008】

(8) n 形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2 アルミニウム合金 (組成式: LaAl_2) を原料として形成することを特徴とする n 形オーミック電極の形成方法。

(9) n 形 III 族窒化物半導体層を 300℃以下として、n 形 III 族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が 10 質量%以上であり、その接合界面から 30 nm 以上離れた領域でランタンの含有率が 10 質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層から n 形オーミック電極を形成することを特徴とする上記 (8) に記載の n 形オーミック電極の形成方法。

(10) 結晶基板の一表面上に設けられた n 形の III 族窒化物半導体層及び p 形の化合物半導体層と、該 n 形及び p 形の化合物半導体層との中間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック (Ohmic) 接触性電極を設ける半導体発

光素子の製造方法において、上記 n 形 III 族窒化物半導体層に接して設ける n 形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2 アルミニウム合金（組成式： LaAl_2 ）を原料として形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

(11) n 形 III 族窒化物半導体層を 300℃以下として、n 形 III 族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が 10 質量%以上であり、その接合界面から 30 nm 以上離れた領域でランタンの含有率が 10 質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層から n 形オーミック電極を形成することを特徴とする上記 (10) に記載の半導体発光素子の製造方法。

【0009】

【発明の実施の形態】

n 形オーミック電極を設けるための n 形 III 族窒化物半導体層は、ハロゲン (h a l o g e n) 法、ハイドライド (h y d r i d e) 法や MOCVD (有機金属化学的気相堆積) 法に依り形成できる。また、分子線エピタキシャル法でも形成できる (J. S o l i d S t a t e C h e m. , 133 (1997)、269～272 頁参照。)。n 形 III 族窒化物半導体層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、抵抗率 (比抵抗) は $5 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であるのが好適である。n 形 III 族窒化物半導体層の層厚は、連続膜が得られる 50 ナノメートル (nm) 以上で、亀裂 (c r a c k) の顕著な発生が認められない 5000 nm 以下とするのが適する。キャリア濃度は、n 形 III 族窒化物半導体層の層厚方向に略一定であるか、同層の表面に向けて増大しているのが望ましい。

【0010】

本発明に係わるランタン・アルミニウム合金から成る n 形オーミック電極は、例えば、組成式で LaAl_4 (ランタン含有率 = 56.3 質量%)、 LaAl_2 (ランタン含有率 = 73.0 質量%)、並びに LaAl (ランタン含有率 = 83.7 質量%) と表されるランタン・アルミニウム合金を原料として構成出来る。中でもランタン・2 アルミニウム合金 (組成式： LaAl_2) は、 LaAl_4 に比較

してランタン含有量が多く、通常の真空蒸着手段に依り十分に蒸着できる融点を有しているため、特に好都合な原料として利用できる。LaAlでは、3ランタン・2アルミニウム（組成式： La_3Al_2 ）の場合と同じく、ランタンの含有率は LaAl_2 に比べ高いものの、ランタンとアルミニウムとの組成比の安定したランタン・アルミニウム合金膜を形成できない。

【0011】

接触性のより良いn形オーミック電極とするためには、被着時にn形III族窒化物半導体層を敢えて加熱する必要はない。被着時のIII族窒化物半導体層温度は、50℃以下であるのが好適である。n形III族窒化物半導体層を、300℃を超える温度に加熱して形成すると、n形半導体層との接合界面でランタンの含有量の少ないランタン・アルミニウム合金層が形成され不都合である。接合界面近傍の領域に於いて、ランタン含有量の小さいランタン・アルミニウム合金層が形成される程、n形オーミック電極の接触抵抗は増加する。接合界面近傍の領域でのランタン・アルミニウム合金層のランタン含有率が10質量%未満となると、接触抵抗を $0.1\ \Omega \cdot \text{cm}^{-2}$ 以下とするn形オーミック電極は安定して形成出来ない。また、ランタンを10質量%以上含むアルミニウム・ランタン合金層は、n形III族窒化物半導体層との接合界面から合金層の表面に向けて30nm以内の領域に設けることが好ましい。逆に、その接合界面から30nm以上離れた領域では、ランタンの含有率が10質量%未満であることが好ましい。n形III族窒化物半導体層の表面に接触する層は、ランタン単体から、即ち、ランタンの質量含有率を100質量%とする層から構成しても構わない。

【0012】

n形オーミック電極をなすランタン・アルミニウム合金は、n形III族窒化物半導体層の表面を間隙無く被覆できる層厚とするのが適する。一般には、50nm以上とするのが適する。結線用の台座（pad）電極を構成する場合にあっては、ランタン・アルミニウム合金膜上に更に金属膜を重層させる。n形III族窒化物半導体層の表面に接触するランタン・アルミニウム合金膜に接合させて設ける金属膜は、アルミニウムやチタンから構成するのが好適である。台座電極の厚さは、約1μm～約5μmとするのが適する。例えば、層厚が0.3μmの

LaAl₂合金膜に、厚さを約1.5 μmとするAl膜を接合させて設けて、合計の層厚を1.8 μmとする台座電極を構成する例を挙げられる。ランタン・アルミニウム合金層上に例えば、アルミニウム層を被着させた後、所謂、合金化熱処理(alloying)を300℃を超える温度で施すのは良好なn形オーミック電極を構成するに不都合となる。高温での熱処理に因るランタンの熱拡散に伴い、n形III族窒化物半導体層との接合界面近傍の好ましい領域にランタン元素を蓄積出来無くなるからである。

【0013】

n形のIII族窒化物半導体層の表面に接触させて設けたランタン・アルミニウム合金膜は、低い接触抵抗のn形オーミック電極をもたらす作用を有する。

【0014】

【実施例】

(第1実施例)

n形III族窒化物半導体層の表面に、ランタン・アルミニウム合金膜からn形オーミック電極を設ける場合を例にして本発明を具体的に説明する。

【0015】

トリメチルガリウム(分子式: (CH₃)₃Ga) 及びアンモニア(分子式: NH₃) を原料とする減圧MOCVD手段により、珪素(Si) をドーピングしたn形GaN層を気相成長させた。n形GaN層のキャリア濃度は $9 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、層厚は約3.2 μmであった。GaN層の表面を弗化アンモニウム(NH₄F) 水溶液で処理した後、ランタン・アルミニウム合金膜を表面に被着した。

【0016】

n形GaN層を室温(〜23℃) に保持しつつ、LaAl₂合金を蒸着源として、通常の真空蒸着手段に依り、ランタン・アルミニウム合金層をGaN層の表面に被着させた。ランタン・アルミニウム合金層の層厚は約0.5 μmとした。図1に、電子顕微鏡に付帯するエネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX) を用いて測定したn形GaN層とランタン・アルミニウム合金層との接合領域における元素分析の結果を示す。分析結果から、室温でGaN層上にランタ

ン・アルミニウム合金層を被着させたことにより、n形GaN層との接合界面近傍の領域で、ランタンを約15質量%と豊富に含むランタン・アルミニウム合金層が形成されているのが判明した。また、ランタンを10質量%を越えて含むランタン・アルミニウム合金層が形成されている領域は、n形GaN層との接合界面から同合金層の表面側に向けて約8nmの領域であった。それより合金層の表面側の領域に向けてランタンの含有率は10質量%から、合金層の層厚の増加と共に、減少していた。合金層の表面領域では、ランタンは殆ど含有されておらず、アルミニウムを主体として構成されるものとなった。

【0017】

上記のn形GaN層の表面上に、近接して形成したランタン・アルミニウム合金膜から成る電極間に於ける電流－電圧（I－V）特性を図2に示す。±50ミリボルト（mV）の正及び負の低電圧領域に於いて、電流は電圧に正比例して直線的に増加している。また、±5V以下の電圧領域に於いても電流は、印可電圧の増加に応じて直線的に増大した。このI－V特性から、ランタン・アルミニウム合金層によりn形GaN層について良好なn形オーミック電極が形成されているのが示された。

【0018】

ランタン・アルミニウム合金電極間の間隔（L）を0.25mm、0.50mm、1.0mm、及び2.0mmと種々、変化させて測定したI－V特性を図3に示す。I－V特性から求めた抵抗値の電極間隔依存性から、TLM（Transmission Line Mode）理論に従い算出した接触抵抗は、 $1.6 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}^{-2}$ となった。この算出には、電流の通流に実際に有効となる電極の幅を考慮した。

【0019】

（第2実施例）

上記のn形GaN層を350℃に保持しつつ、GaN層の表面にランタン・アルミニウム合金層を被着させた。第1実施例とは、被着させる温度のみを変更して形成したランタン・アルミニウム合金層についてのオージェ電子分光分析の結果を図4に示す。ランタン・アルミニウム合金層の合金源（LaAl₂）を高温

で被着したため、ランタンが合金層の表層領域に蓄積しているのが認められた。一方、 n 形 GaN 層との接合界面近傍の領域、少なくとも接合界面より合金層側に至る 30 nm 以内の領域には、ランタンは殆ど含有されておらず、その質量含有率は 5% 未満のアルミニウムを主体とする層となっていた。

【0020】

高温で被着したランタン・アルミニウム合金層の $I-V$ 特性を図 5 に示す。 $I-V$ 特性から、 ± 1 V の低電圧領域に於いて、既に、高い抵抗が発生しているのが示された。図 2 に示した室温で被着したランタン・アルミニウム合金層の $I-V$ 特性との比較から、本実施例に於ける高温で形成したランタン・アルミニウム合金膜では、 n 形 GaN 層に対して、第 1 実施例よりは劣るオーミック特性の n 形オーミック電極をもたらすことが示された。同様の非整流性を示す $I-V$ 特性は、300℃を越える高温でランタン・アルミニウム合金層を形成した場合に顕著に発現した。

【0021】

(第 3 実施例)

ランタン・アルミニウム合金から成る n 形オーミック電極を利用して化合物半導体 LED を構成する場合を例にして本発明を具体的に説明する。

【0022】

図 6 に本実施例に記載の LED 1A の断面模式図を示す。また、図 7 に LED 1A の平面模式図を示す。

【0023】

(0001) - サファイア (Al_2O_3) 基板 101 上に、Si ドープ n 形 GaN 層 (キャリア濃度 $= 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 層厚 $= 4.2 \mu\text{m}$) 102、インジウム (In) 組成比を互いに異にする複数の塊 (domain) または相 (phase) から成る多相構造の n 形窒化ガリウム・インジウム ($Ga_{0.90}In_{0.10}N$) 層 103、アンドープで p 形のリン化硼素 (BP) 層 (キャリア濃度 $= 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 層厚 $= 0.6 \mu\text{m}$) 104 を順次、積層させて積層構造体 1B を構成した。

【0024】

次に、公知のフォトリソグラフィ技術を利用して、積層構造体 1 B の最表層をなす p 形 B P 層 1 0 4 にパターンニング (p a t t e r n i n g) を施した。次に、塩素ガス (C l₂) を用いた一般的なプラズマエッチング手段に依り、素子の形状に加工した。この加工に依り、p 形 B P 層 1 0 4 の一部の領域を図 6 及び図 7 に示す如く削除した。プラズマエッチングにより露出させた n 形 G a N 層 1 0 2 の表面には、公知の真空蒸着手段に依り、ランタン・アルミニウム合金層 1 0 5 a 及びアルミニウム層 1 0 5 b を連続的に被着させた。次に、重層させた金属層 (1 0 5 a、1 0 5 b) をパターンニングして、長方形の n 形オーミック電極 1 0 5 を形成した。ランタン・アルミニウム合金層 1 0 5 a は、ランタン・アルミニウム合金 (L a A l₂) を蒸着源として、室温で n 形 G a N 層 1 0 2 上に形成した。ランタン・アルミニウム合金層 1 0 5 a の層厚は 1 0 0 n m とした。アルミニウム層 1 0 5 b の層厚は 1 . 5 μ m とした。一方、p 形 B P 層の表面には、電子ビーム蒸着法で被着させたチタン (T i) 1 0 6 a 及び金 (A u) 1 0 6 b の重層構造からなる p 形オーミック電極 1 0 6 を形成した。両方のオーミック電極 1 0 5、1 0 6 について、アロイング処理は施さなかった。

【0025】

(0001) 結晶面を表面とする n 形 G a N 層 1 0 2 を下部クラッド層とし、(111) 結晶方位に配向した p 形 (111) - B P 層 1 0 4 を上部クラッド層として構成した、ダブルヘテロ (D H) 接合構造の L E D 1 A に順方向に素子駆動電流を通流した。n 形及び p 形オーミック電極 1 0 5、1 0 6 間に、2 0 m A の順方向電流を通流した際の発光中心波長は、4 4 0 n m であった。また、順方向電圧は 3 . 4 V であり、逆方向電流を 1 0 μ A とした際の逆方向電圧は 8 . 3 V であった。

【0026】

【発明の効果】

本発明に依れば、n 形の I I I 族窒化物半導体層の表面に接触させて設ける n 形オーミック電極をアルミニウムとランタンの合金から構成することとしたので、低接触抵抗の電極を形成できるため、供給される素子駆動電流を効率的に発光のために変換でき、従って、高い発光強度の化合物半導体発光素子を提供するこ

とができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 実施例に記載のランタン・アルミニウム層の元素分析結果を示す図である。

【図 2】

第 1 実施例に記載の電極の電流－電圧特性を示す図である。

【図 3】

第 1 実施例に記載の電極間の距離（L）に依る電流－電圧特性の変化を示す図である。

【図 4】

第 2 実施例に記載の高温で被着したランタン・アルミニウム合金層内部の元素分布を示す図である。

【図 5】

第 2 実施例に記載のランタン・アルミニウム合金層の電流－電圧特性を示す図である。

【図 6】

第 3 実施例に記載の LED の断面模式図である。

【図 7】

図 6 に記載の LED の平面模式図である。

【符号の説明】

1 A…LED

1 B…積層構造体

1 0 1…サファイア基板

1 0 2…n 形 GaN 層（下部クラッド層）

1 0 3…n 形 GaInN 発光層

1 0 4…p 形 BP 層（上部クラッド層）

1 0 5…n 形オーミック電極

1 0 5 a…ランタン・アルミニウム合金層

105b...アルミニウム層

106...p形オーミック電極

106a...チタン層

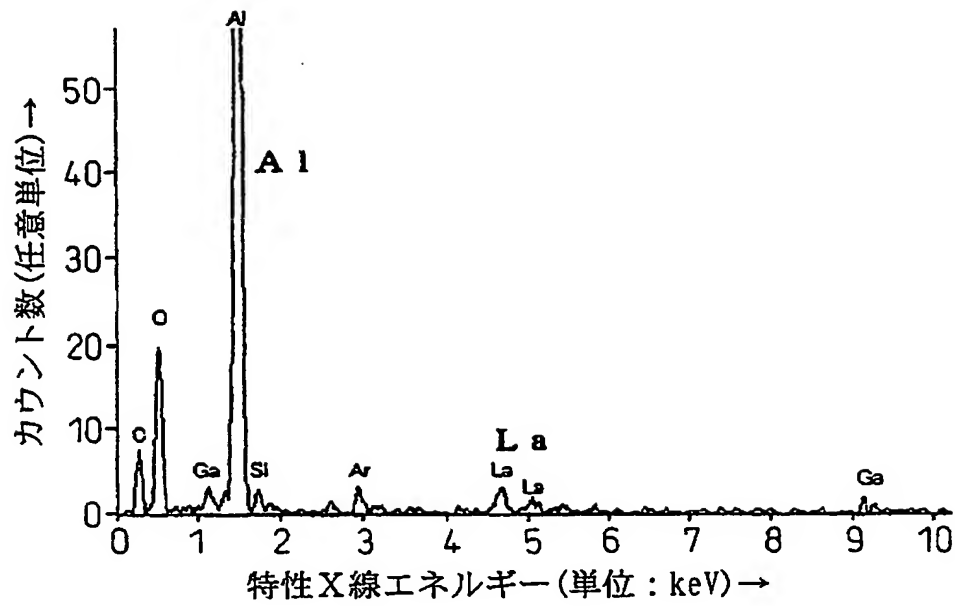
106b...金 (Au) 層

【書類名】

図面

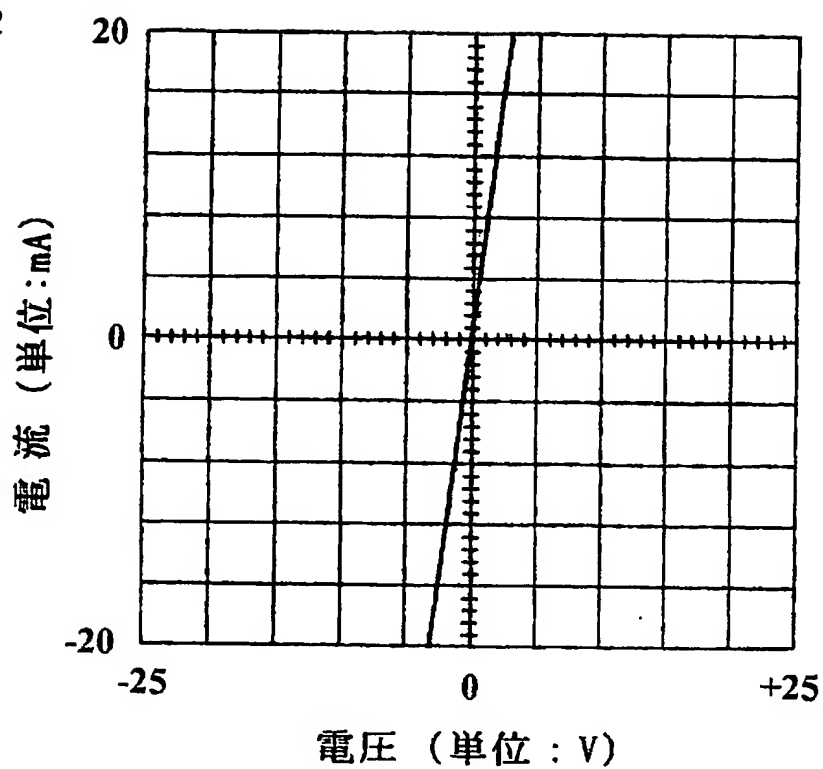
【図 1】

図1



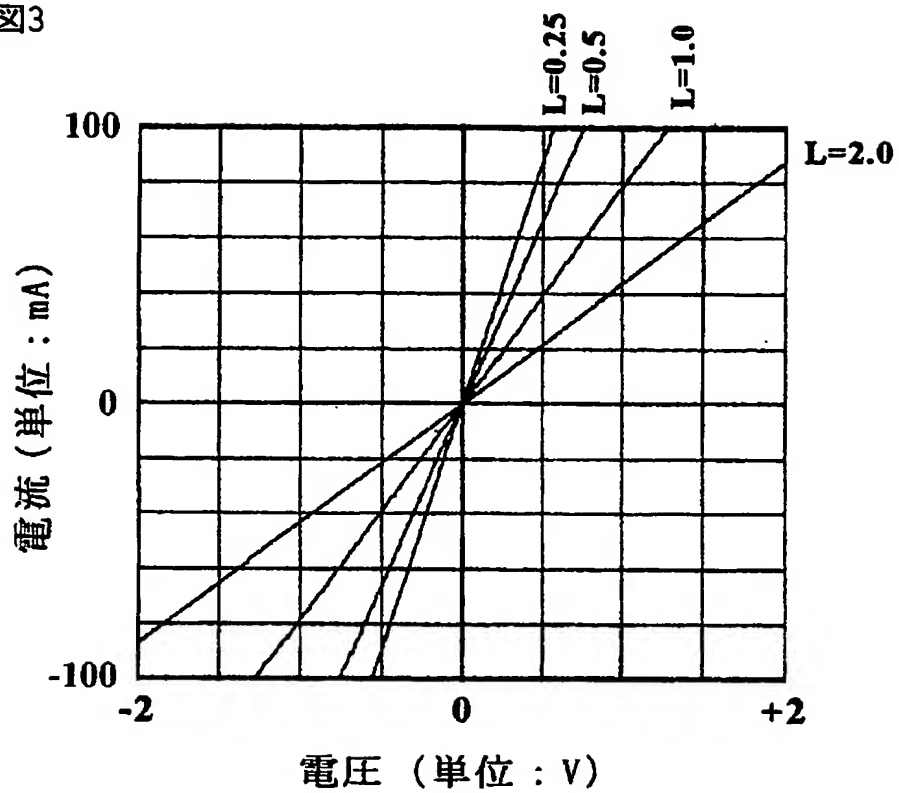
【図 2】

図 2



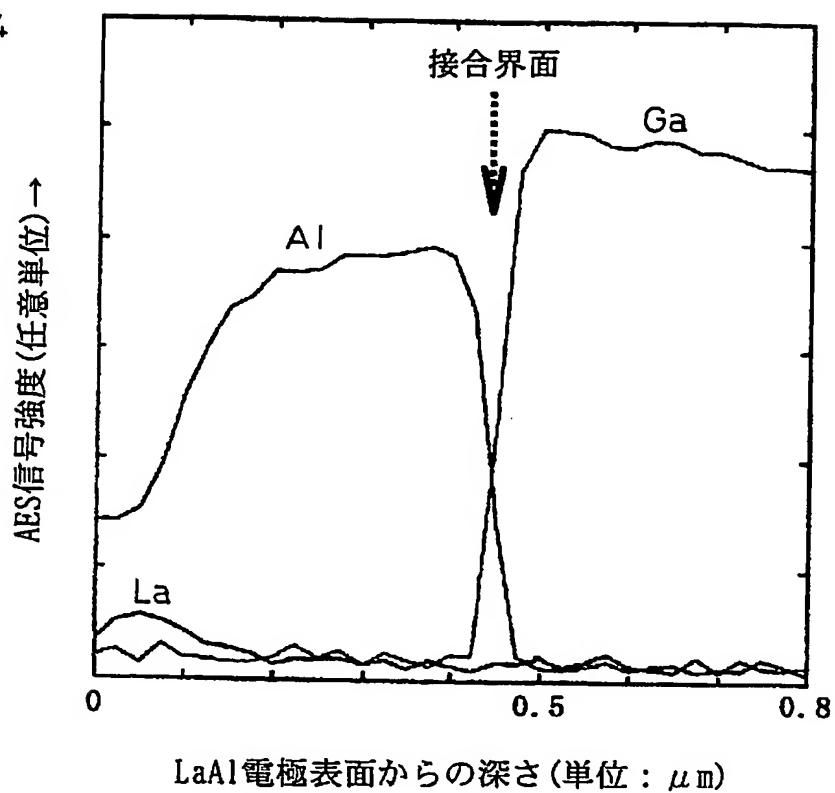
【図3】

図3



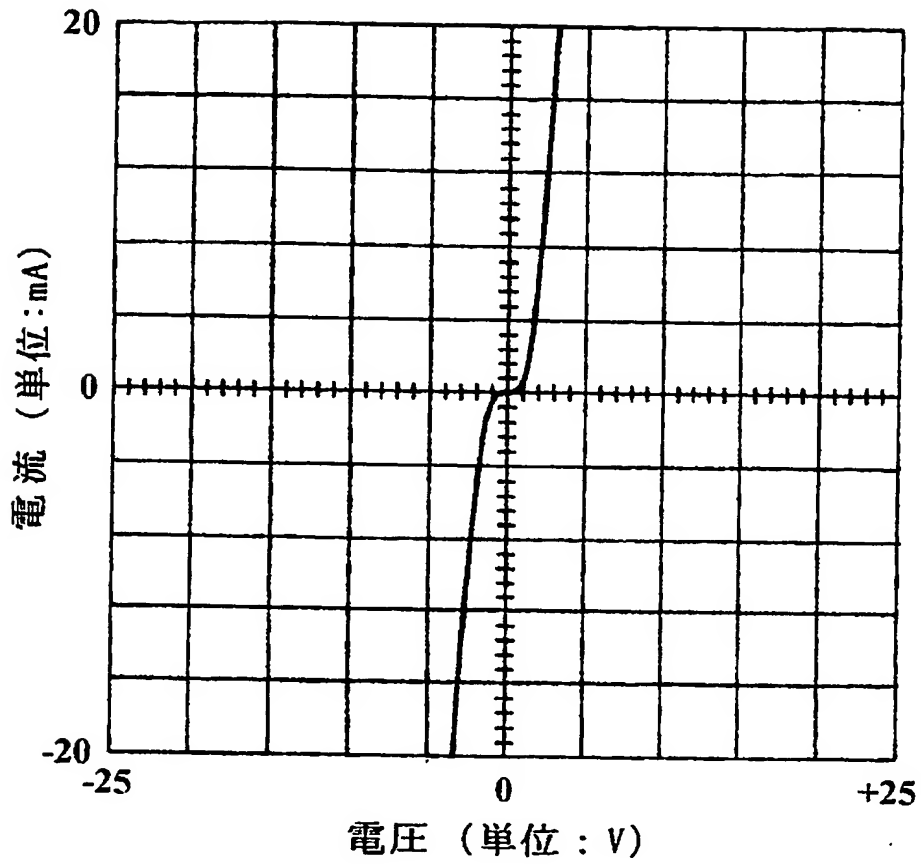
【図 4】

図 4



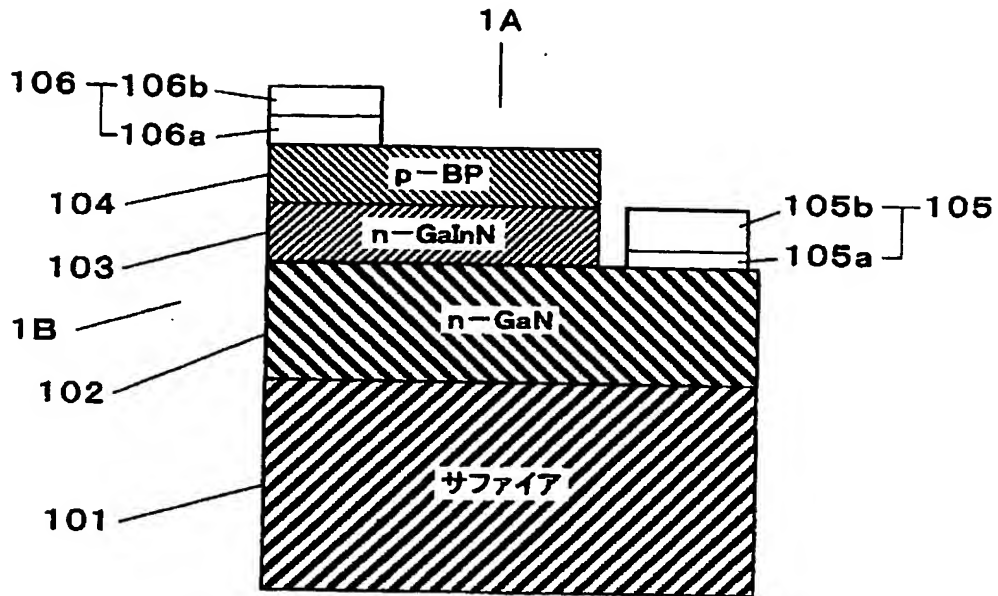
【図5】

図5



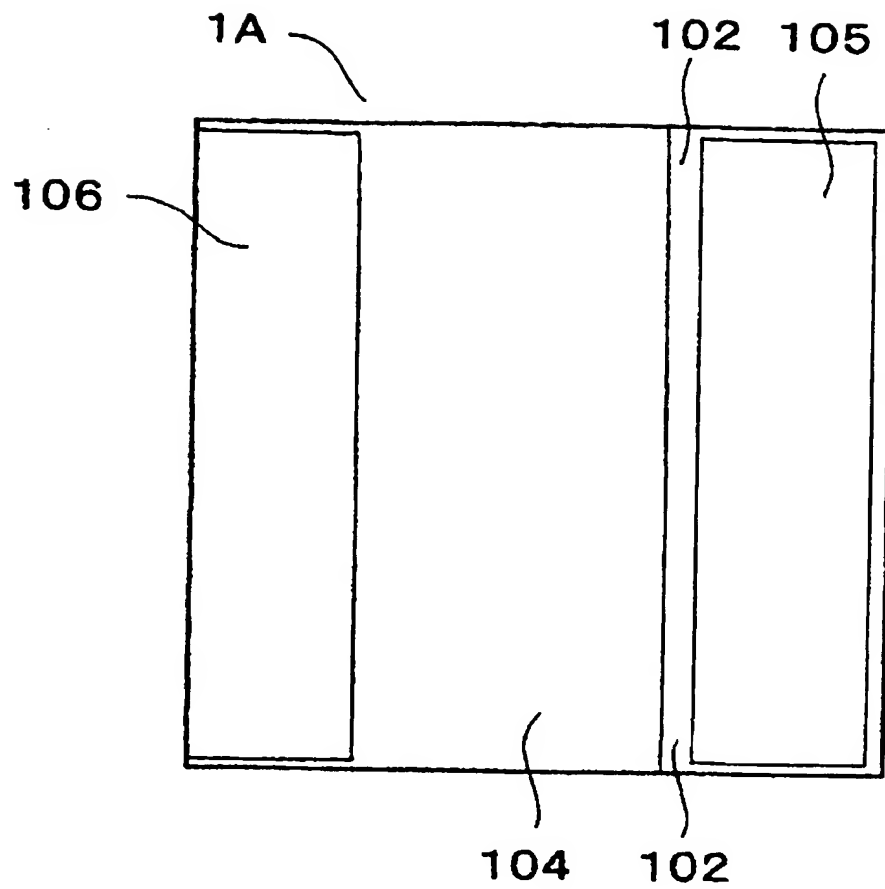
【図 6】

図 6



【図 7】

図 7



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 n形ⅢⅢ族窒化物半導体層に好適となるn形オーミック電極の構成、並びに低接触抵抗を得るために必要な形成方法を提示する。また、それを備えることにより電気的特性の改善された半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 n形ⅢⅢ族窒化物半導体層の表面に接触する電極の部位を、特に、 LaAl_2 合金を原料とした $\text{La} \cdot \text{Al}$ 合金膜から構成する。また、同半導体との接合領域にランタンを富裕に含ませるため、 300°C 以下の温度で $\text{La} \cdot \text{Al}$ 合金膜を形成する。

【選択図】 図3

特願 2003-197927

ページ : 1/E

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000002004]

1. 変更年月日
[変更理由]

住 所
氏 名

1990年 8月27日

新規登録

東京都港区芝大門1丁目13番9号
昭和電工株式会社

PCT/JP 2004/010556

16. 7. 2004

PA 1188466

05 AUG 2004

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

June 29, 2004

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/489,108

FILING DATE: July 23, 2003

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS



L. EDELEN
Certifying Officer



PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

INVENTOR(S)/APPLICANT(S)

Given Name (first and middle [if any])	Family Name or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)	
Takashi UDAGAWA		Chichibu	JAPAN

☐ Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheet(s) attached hereto**TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)****N-TYPE OHMIC ELECTRODE FOR N-TYPE GROUP-III NITRIDE SEMICONDUCTOR, SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DEVICE HAVING THE SAME AND PRODUCTION METHOD OF N-TYPE OHMIC ELECTRODE****CORRESPONDENCE ADDRESS**

Direct all correspondence to the address for SUGHRUE MION, PLLC filed under the Customer Number listed below:

WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)

Specification (Japanese Language)		Number of Pages	11	<input type="checkbox"/> CD(s), Number	
<input checked="" type="checkbox"/>	Drawing(s)	Number of Sheets	7	<input type="checkbox"/> Other (specify)	
<input type="checkbox"/> Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76					

METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

- ☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.
- ☒ A check or money order is enclosed to cover the Provisional filing fees. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.
- ☐ The USPTO is hereby authorized to charge the Provisional filing fees to our Deposit Account No. 19-4880. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.

**FILING FEE
AMOUNT (\$)****\$160.00**

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.

- ☒ No.
- ☐ Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are:

Respectfully submitted,

SIGNATURE



DATE July 23, 2003

TYPED or PRINTED NAME Abraham J. Rosner

REGISTRATION NO. 33,276

TELEPHONE NO. (202) 293-7060

DOCKET NO. P76633

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

【書類名】 明細書

【発明の名称】 n形III族窒化物半導体のためのn形オーミック電極、それを備えた半導体発光素子、及びn形オーミック電極の形成方法

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、n形のIII族窒化物半導体層の表面に接触させて設けるn形オーミック電極、それを備えた半導体発光素子及びn形オーミック電極の形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、例えば、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$) で表記されるIII族窒化物半導体は、青色帯或いは緑色帯の短波長可視光を出射する半導体発光素子にあって、n形クラッド (clad) 層等の障壁層を構成するために利用されている (例えば、非特許文献1参照。)。また、高電子移動度電界効果型トランジスタにあって、電子供給層をn形窒化アルミニウム・ガリウム (組成式 Al_xGa_yN : $0 \leq X \leq 1$) から構成する例がある (例えば、非特許文献1参照。)。発光ダイオード (英略称: LED) 或いはレーザダイオード (英略称: LD) 等の半導体発光素子は、上記のn形III族窒化物半導体層の表面に接触させてn形オーミック接触性電極 (n形オーミック電極) を設けて作製される。また、電界効果型トランジスタ (英略称: FET) は、n形III族窒化物半導体からなる電子供給層或いは能動層の表面に例えば、直接、n形オーミック電極を接触させて設けて作製されている。

【0003】

n形III族窒化物半導体についてのn形オーミック電極は、従来では、例えば、チタン (元素記号: Ti) (例えば、特許文献1参照。)、または、アルミニウム (元素記号: Al) からn形オーミック電極を構成する例が開示されている (例えば、特許文献2参照。)。

【0004】

【特許文献1】

特許第2783349号明細書

【特許文献2】

特開平7-45867号公報

【非特許文献1】

赤崎 勇編著、「III-V族化合物半導体」、初版、(株)培風館、1994年5月20日、13章

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、n形III族窒化物半導体層に従来の金属材料から構成されたn形オーミック電極を設けて成る化合物半導体LEDにあっては、順方向電圧（所謂、 V_f ）の更なる低減が望まれている。また、FETにあっては、熱抵抗の増大に因る素子特性の劣化を抑制するために更なるドレイン（*drain*）抵抗の低減が望まれている。化合物半導体発光素子或いはFETの特性向上には、従って、n形III族窒化物半導体について、低い接触抵抗をもたらす材料からn形オーミック電極を構成する必要がある。本発明では、特に、化合物半導体発光素子の特性向上を果たすためのn形オーミック電極、それを備えた化合物発光素子、及びそのn形オーミック電極の形成方法を提供する。

【0006】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明は次の構成からなる。

(1) n形III族窒化物半導体層の表面に接触させて設けるn形III族窒化物半導体用途のn形オーミック（*Ohmic*）電極であって、該n形オーミック電極層をアルミニウム（元素記号：*Al*）とランタン（元素記号：*La*）の合金またはランタンから構成したことを特徴とするn形III族窒化物半導体のためのn形オーミック電極。

(2) n形オーミック電極層中のランタンの含有率が、n形III族窒化物半導体層に接触する面において10質量%以上であることを特徴とする上記(1)に記載のn形オーミック電極。

(3) n形オーミック電極層中のランタンの含有率が、n形III族窒化物半

導体層との接合界面から30nm以上離れた領域で10質量%未満であることを特徴とする上記(2)に記載のn形オーミック電極。

(4) n形オーミック電極層のn形III族窒化物半導体層に接触する面と反対の面がアルミニウムから構成されていることを特徴とする上記(3)に記載のn形オーミック電極。

【0007】

(5) 結晶基板の一表面上に設けられたn形のIII族窒化物半導体層及びp形の化合物半導体層と、該n形及びp形の化合物半導体層との中間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック(Ohmic)接触性電極を設けて構成される半導体発光素子に於いて、上記のn形III族窒化物半導体層に接して設けるn形オーミック電極がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成されていることを特徴とする半導体発光素子。

(6) n形オーミック電極が、n形III族窒化物半導体層に接触する面側がランタン・アルミニウム合金層またはランタン層から構成され、その反対面側がアルミニウム層から構成されていることを特徴とする上記(5)に記載の半導体発光素子。

(7) n形オーミック電極が、n形III族窒化物半導体層との接合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層から構成されていることを特徴とする上記(5)または上記(6)に記載の半導体発光素子。

【0008】

(8) n形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2アルミニウム合金(組成式: LaAl_2)を原料として形成することを特徴とするn形オーミック電極の形成方法。

(9) n形III族窒化物半導体層を300℃以下として、n形III族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層からn形オーミック電極を形成することを特徴とする上記(8)

に記載のn形オーミック電極の形成方法。

(10) 結晶基板の一表面上に設けられたn形のIII族窒化物半導体層及びp形の化合物半導体層と、該n形及びp形の化合物半導体層との中間に発光層とを備えた積層構造体に、オーミック(Ohmic)接触性電極を設ける半導体発光素子の製造方法において、上記n形III族窒化物半導体層に接して設けるn形オーミック電極を構成するランタン・アルミニウム合金層を、ランタン・2アルミニウム合金(組成式： LaAl_2)を原料として形成することを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

(11) n形III族窒化物半導体層を300℃以下として、n形III族窒化物半導体層の表面にランタン・アルミニウム合金層を接合させて設け、その接合界面においてランタンの含有率が10質量%以上であり、その接合界面から30nm以上離れた領域でランタンの含有率が10質量%未満であるランタン・アルミニウム合金層からn形オーミック電極を形成することを特徴とする上記(10)に記載の半導体発光素子の製造方法。

【0009】

【発明の実施の形態】

n形オーミック電極を設けるためのn形III族窒化物半導体層は、ハロゲン(halogen)法、ハイドライド(hydride)法やMOCVD(有機金属化学的気相堆積)法に依り形成できる。また、分子線エピタキシャル法でも形成できる(J. Solid State Chem., 133(1997)、269~272頁参照。)。n形III族窒化物半導体層のキャリア濃度は、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であり、抵抗率(比抵抗)は $5 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であるのが好適である。n形III族窒化物半導体層の層厚は、連続膜が得られる50ナノメートル(nm)以上で、亀裂(crack)の顕著な発生が認められない5000nm以下とするのが適する。キャリア濃度は、n形III族窒化物半導体層の層厚方向に略一定であるか、同層の表面に向けて増大しているのが望ましい。

【0010】

本発明に係わるランタン・アルミニウム合金から成るn形オーミック電極は、例えば、組成式で LaAl_4 (ランタン含有率=56.3質量%)、 LaAl_2 (

ランタン含有率=73.0質量%)、並びにLaAl (ランタン含有率=83.7質量%)と表されるランタン・アルミニウム合金を原料として構成出来る。中でもランタン・2アルミニウム合金(組成式: LaAl_2)は、 LaAl_4 に比較してランタン含有量が多く、通常の真空蒸着手段に依り充分に蒸着できる融点を有しているため、特に好都合な原料として利用できる。LaAlでは、3ランタン・2アルミニウム(組成式: La_3Al_2)の場合と同じく、ランタンの含有率は LaAl_2 に比べ高いものの、ランタンとアルミニウムとの組成比の安定したランタン・アルミニウム合金膜を形成できない。

【0011】

接触性のより良いn形オーミック電極とするためには、被着時にn形III族窒化物半導体層を取えて加熱する必要はない。被着時のIII族窒化物半導体層温度は、50℃以下であるのが好適である。n形III族窒化物半導体層を、300℃を超える温度に加熱して形成すると、n形半導体層との接合界面でランタンの含有量の少ないランタン・アルミニウム合金層が形成され不都合である。接合界面近傍の領域に於いて、ランタン含有量の小さいランタン・アルミニウム合金層が形成される程、n形オーミック電極の接触抵抗は増加する。接合界面近傍の領域でのランタン・アルミニウム合金層のランタン含有率が10質量%未満となると、接触抵抗を $0.1\Omega\cdot\text{cm}^{-2}$ 以下とするn形オーミック電極は安定して形成出来ない。また、ランタンを10質量%以上含むアルミニウム・ランタン合金層は、n形III族窒化物半導体層との接合界面から合金層の表面に向けて30nm以内の領域に設けることが好ましい。逆に、その接合界面から30nm以上離れた領域では、ランタンの含有率が10質量%未満であることが好ましい。n形III族窒化物半導体層の表面に接触する層は、ランタン単体から、即ち、ランタンの質量含有率を100質量%とする層から構成しても構わない。

【0012】

n形オーミック電極をなすランタン・アルミニウム合金は、n形III族窒化物半導体層の表面を間隙無く被覆できる層厚とするのが適する。一般には、50nm以上とするのが適する。結線用の台座(pad)電極を構成する場合にあっては、ランタン・アルミニウム合金膜上に更に金属膜を重層させる。n形III族窒化物半導体層の表面に接触するランタン・アルミニウム合金膜に接合させて

設ける金属膜は、アルミニウムやチタンから構成するのが好適である。台座電極の厚さは、約 $1\mu\text{m}$ ～約 $5\mu\text{m}$ とするのが適する。例えば、層厚が $0.3\mu\text{m}$ の LaAl_3 合金膜に、厚さを約 $1.5\mu\text{m}$ とする Al 膜を接合させて設けて、合計の層厚を $1.8\mu\text{m}$ とする台座電極を構成する例を挙げられる。ランタン・アルミニウム合金層上に例えば、アルミニウム層を被着させた後、所謂、合金化熱処理(alloying)を 300°C を超える温度で施すのは良好な n 形オーミック電極を構成するに不都合となる。高温での熱処理に因るランタンの熱拡散に伴い、 n 形 III 族窒化物半導体層との接合界面近傍の好ましい領域にランタン元素を蓄積出来無くなるからである。

【0013】

n 形の III 族窒化物半導体層の表面に接触させて設けたランタン・アルミニウム合金膜は、低い接触抵抗の n 形オーミック電極をもたらす作用を有する。

【0014】

【実施例】

(第1実施例)

n 形 III 族窒化物半導体層の表面に、ランタン・アルミニウム合金膜から n 形オーミック電極を設ける場合を例にして本発明を具体的に説明する。

【0015】

トリメチルガリウム(分子式： $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$)及びアンモニア(分子式： NH_3)を原料とする減圧MOCVD手段により、珪素(Si)をドーピングした n 形 GaN 層を気相成長させた。 n 形 GaN 層のキャリア濃度は $9 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ であり、層厚は約 $3.2\mu\text{m}$ であった。 GaN 層の表面を弗化アンモニウム(NH_4F)水溶液で処理した後、ランタン・アルミニウム合金膜を表面に被着した。

【0016】

n 形 GaN 層を室温($\sim 23^\circ\text{C}$)に保持しつつ、 LaAl_3 合金を蒸着源として、通常の真空蒸着手段に依り、ランタン・アルミニウム合金層を GaN 層の表面に被着させた。ランタン・アルミニウム合金層の層厚は約 $0.5\mu\text{m}$ とした。図1に、電子顕微鏡に付帯するエネルギー分散型X線マイクロアナライザー(EDX)を用いて測定した n 形 GaN 層とランタン・アルミニウム合金層との接合

領域における元素分析の結果を示す。分析結果から、室温でGaN層上にランタン・アルミニウム合金層を被着させたことにより、n形GaN層との接合界面近傍の領域で、ランタンを約15質量%と豊富に含むランタン・アルミニウム合金層が形成されているのが判明した。また、ランタンを10質量%を越えて含むランタン・アルミニウム合金層が形成されている領域は、n形GaN層との接合界面から同合金層の表面側に向けて約8nmの領域であった。それより合金層の表面側の領域に向けてランタンの含有率は10質量%から、合金層の層厚の増加と共に、減少していた。合金層の表面領域では、ランタンは殆ど含有されておらず、アルミニウムを主体として構成されるものとなった。

【0017】

上記のn形GaN層の表面上に、近接して形成したランタン・アルミニウム合金膜から成る電極間に於ける電流-電圧(I-V)特性を図2に示す。±50ミリボルト(mV)の正及び負の低電圧領域に於いて、電流は電圧に正比例して直線的に増加している。また、±5V以下の電圧領域に於いても電流は、印可電圧の増加に応じて直線的に増大した。このI-V特性から、ランタン・アルミニウム合金層によりn形GaN層について良好なn形オーミック電極が形成されているのが示された。

【0018】

ランタン・アルミニウム合金電極間の間隔(L)を0.25mm、0.50mm、1.0mm、及び2.0mmと種々、変化させて測定したI-V特性を図3に示す。I-V特性から求めた抵抗値の電極間隔依存性から、TLM(Transmission Line Mode)理論に従い算出した接触抵抗は、 $1.6 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}^{-2}$ となった。この算出には、電流の通流に実際に有効となる電極の幅を考慮した。

【0019】

(第2実施例)

上記のn形GaN層を350℃に保持しつつ、GaN層の表面にランタン・アルミニウム合金層を被着させた。第1実施例とは、被着させる温度のみを変更して形成したランタン・アルミニウム合金層についてのオージェ電子分光分析の結果を図4に示す。ランタン・アルミニウム合金層の合金源(LaAl₃)を高温

で被着したため、ランタンが合金層の表層領域に蓄積しているのが認められた。一方、 n 形Ga N 層との接合界面近傍の領域、少なくとも接合界面より合金層側に至る30nm以内の領域には、ランタンは殆ど含有されておらず、その質量含有率は5%未満のアルミニウムを主体とする層となっていた。

【0020】

高温で被着したランタン・アルミニウム合金層の $I-V$ 特性を図5に示す。 $I-V$ 特性から、 ± 1 Vの低電圧領域に於いて、既に、高い抵抗が発生しているのが示された。図2に示した室温で被着したランタン・アルミニウム合金層の $I-V$ 特性との比較から、本実施例に於ける高温で形成したランタン・アルミニウム合金膜では、 n 形Ga N 層に対して、第1実施例よりは劣るオーミック特性の n 形オーミック電極をもたらすことが示された。同様の非整流性を示す $I-V$ 特性は、300℃を越える高温でランタン・アルミニウム合金層を形成した場合に顕著に発現した。

【0021】

(第3実施例)

ランタン・アルミニウム合金から成る n 形オーミック電極を利用して化合物半導体LEDを構成する場合を例にして本発明を具体的に説明する。

【0022】

図6に本実施例に記載のLED1Aの断面模式図を示す。また、図7にLED1Aの平面模式図を示す。

【0023】

(0001) - サファイア (Al_2O_3) 基板101上に、Siドープ n 形Ga N 層 (キャリア濃度 $= 6 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 層厚 $= 4.2 \mu\text{m}$) 102、インジウム (In) 組成比を互いに異にする複数の塊 (domain) または相 (phase) から成る多相構造の n 形窒化ガリウム・インジウム ($Ga_{0.90}In_{0.10}N$) 層103、アンドープで p 形のリン化硼素 (BP) 層 (キャリア濃度 $= 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, 層厚 $= 0.6 \mu\text{m}$) 104を順次、積層させて積層構造体1Bを構成した。

【0024】

次に、公知のフォトリソグラフィ技術を利用して、積層構造体1Bの最表層

をなすp形BP層104にパターニング(patterning)を施した。次に、塩素ガス(Cl_2)を用いた一般的なプラズマエッチング手段に依り、素子の形状に加工した。この加工に依り、p形BP層104の一部の領域を図6及び図7に示す如く削除した。プラズマエッチングにより露出させたn形GaN層102の表面には、公知の真空蒸着手段に依り、ランタン・アルミニウム合金層105a及びアルミニウム層105bを連続的に被着させた。次に、重層させた金属層(105a、105b)をパターニングして、長方形のn形オーミック電極105を形成した。ランタン・アルミニウム合金層105aは、ランタン・アルミニウム合金(LaAl_2)を蒸着源として、室温でn形GaN層102上に形成した。ランタン・アルミニウム合金層105aの層厚は100nmとした。アルミニウム層105bの層厚は1.5 μm とした。一方、p形BP層の表面には、電子ビーム蒸着法で被着させたチタン(Ti)106a及び金(Au)106bの重層構造からなるp形オーミック電極106を形成した。両方のオーミック電極105、106について、アロイング処理は施さなかった。

【0025】

(0001)結晶面を表面とするn形GaN層102を下部クラッド層とし、(111)結晶方位に配向したp形(111)-BP層104を上部クラッド層として構成した、ダブルヘテロ(DH)接合構造のLED1Aに順方向に素子駆動電流を通流した。n形及びp形オーミック電極105、106間に、20mAの順方向電流を通流した際の発光中心波長は、440nmであった。また、順方向電圧は3.4Vであり、逆方向電流を10 μA とした際の逆方向電圧は8.3Vであった。

【0026】

【発明の効果】

本発明に依れば、n形のIII族窒化物半導体層の表面に接触させて設けるn形オーミック電極をアルミニウムとランタンの合金から構成することとしたので、低接触抵抗の電極を形成できるため、供給される素子駆動電流を効率的に発光のために変換でき、従って、高い発光強度の化合物半導体発光素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

第1実施例に記載のランタン・アルミニウム層の元素分析結果を示す図である

【図2】

第1実施例に記載の電極の電流－電圧特性を示す図である。

【図3】

第1実施例に記載の電極間の距離（L）に依る電流－電圧特性の変化を示す図である。

【図4】

第2実施例に記載の高温で被着したランタン・アルミニウム合金層内部の元素分布を示す図である。

【図5】

第2実施例に記載のランタン・アルミニウム合金層の電流－電圧特性を示す図である。

【図6】

第3実施例に記載のLEDの断面模式図である。

【図7】

図6に記載のLEDの平面模式図である。

【符号の説明】

1A…LED

1B…積層構造体

101…サファイア基板

102…n形GaN層（下部クラッド層）

103…n形GaInN発光層

104…p形BP層（上部クラッド層）

105…n形オーミック電極

105a…ランタン・アルミニウム合金層

105b…アルミニウム層

106…p形オーミック電極

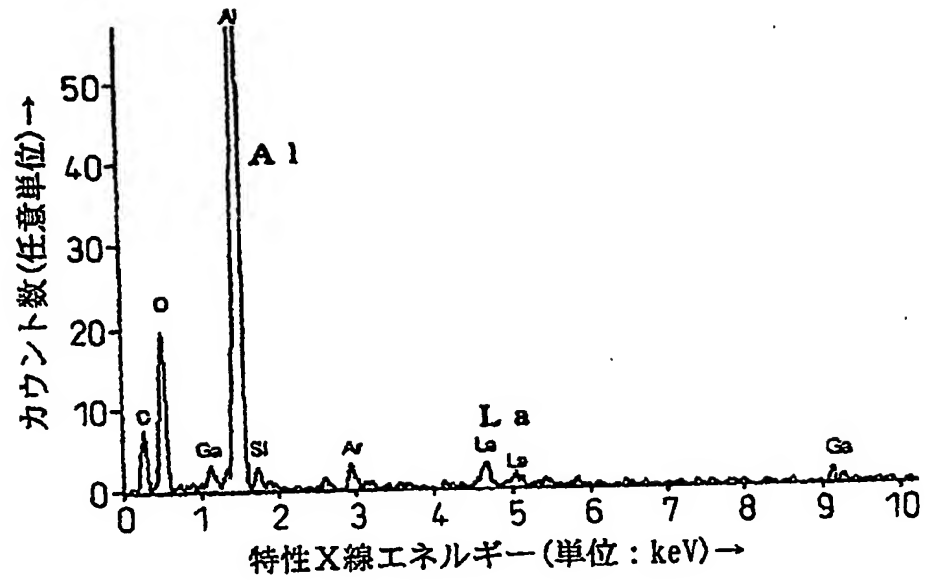
106a…チタン層

106b...金(Au)層

【書類名】 図面

【図1】

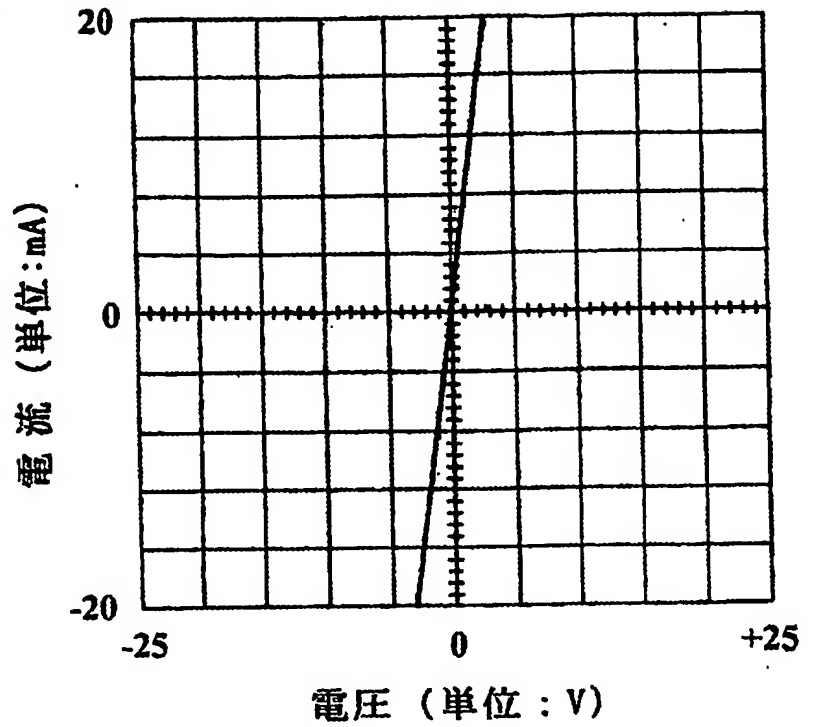
図1



2003-1979

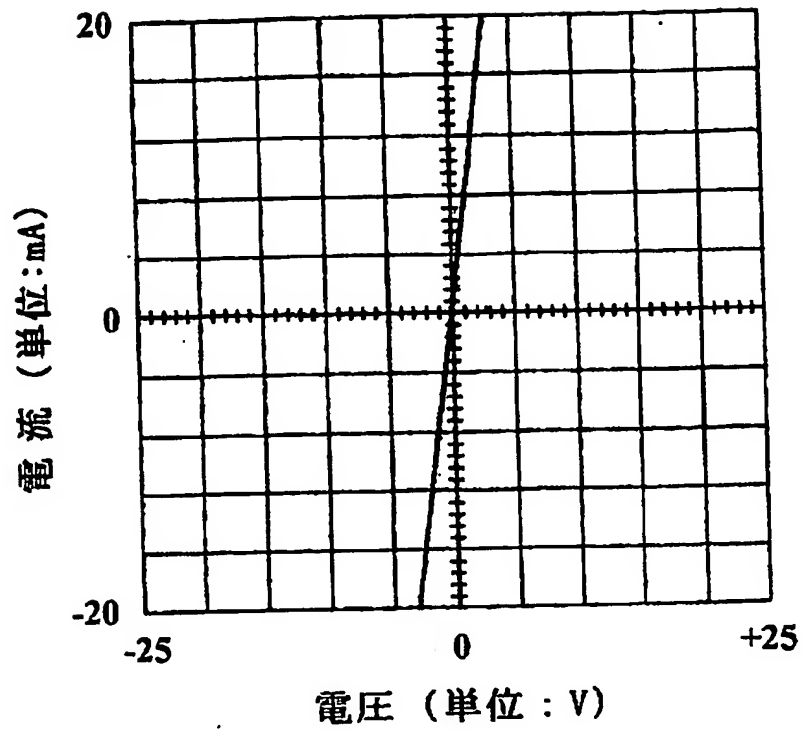
【図2】

図2



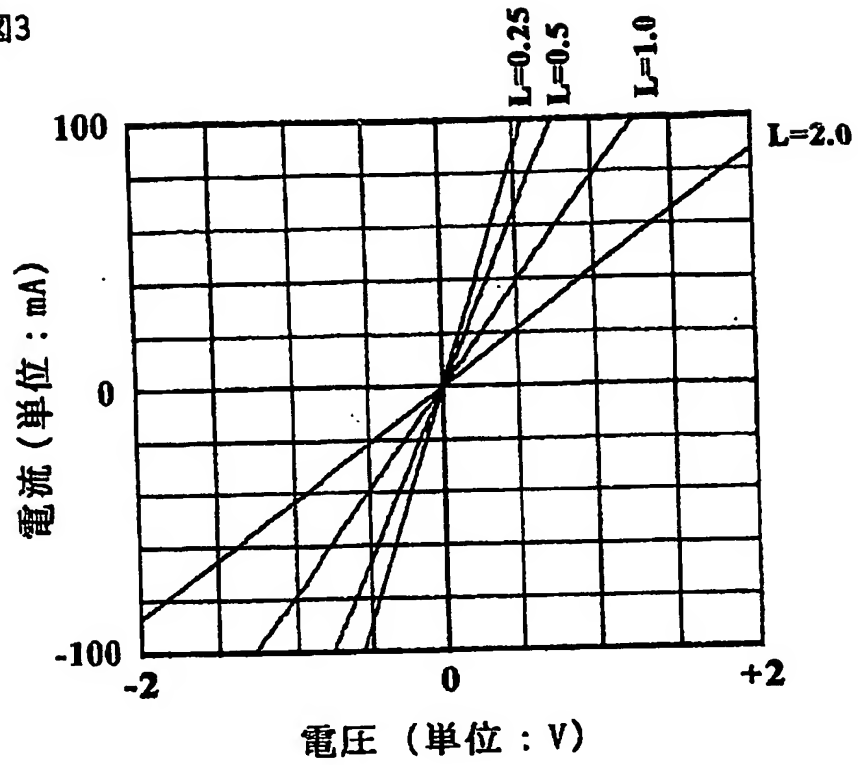
【図2】

図2



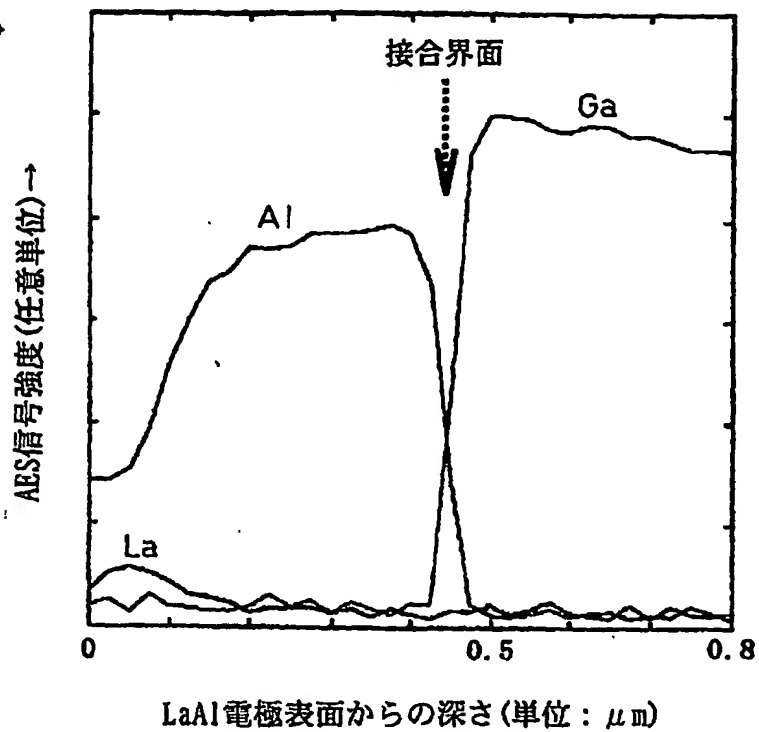
【図3】

図3



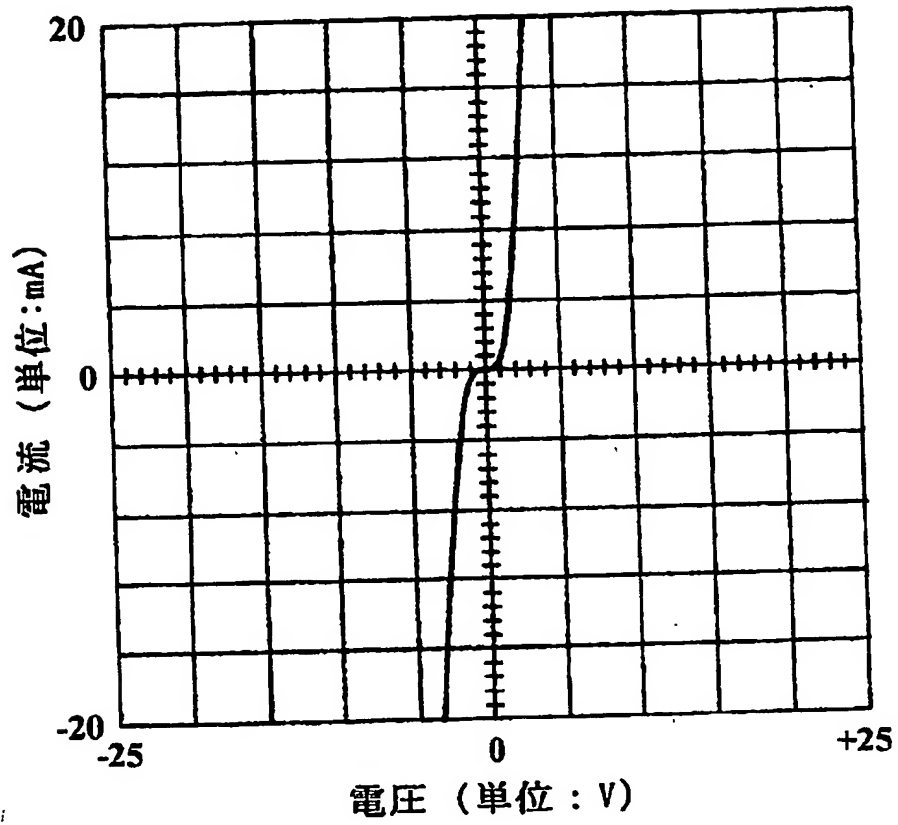
【図4】

図4



【図5】

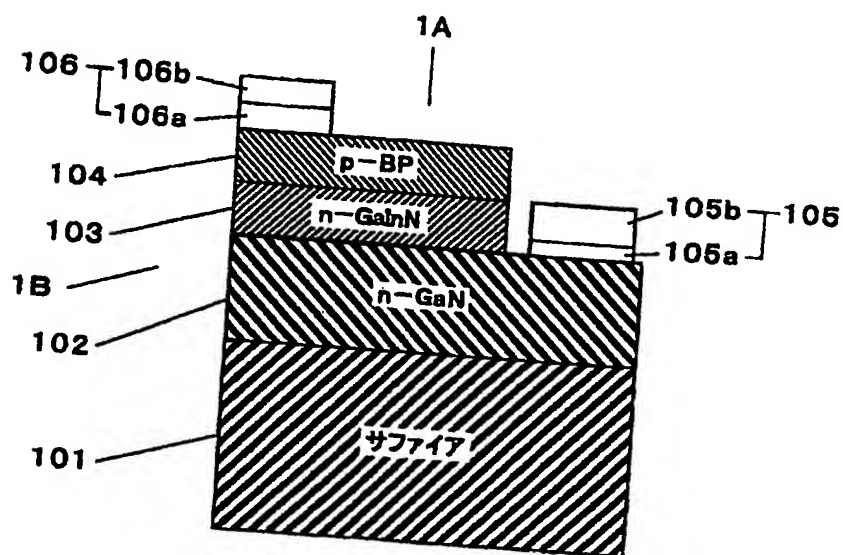
図5



2003-197927

【図6】

図6

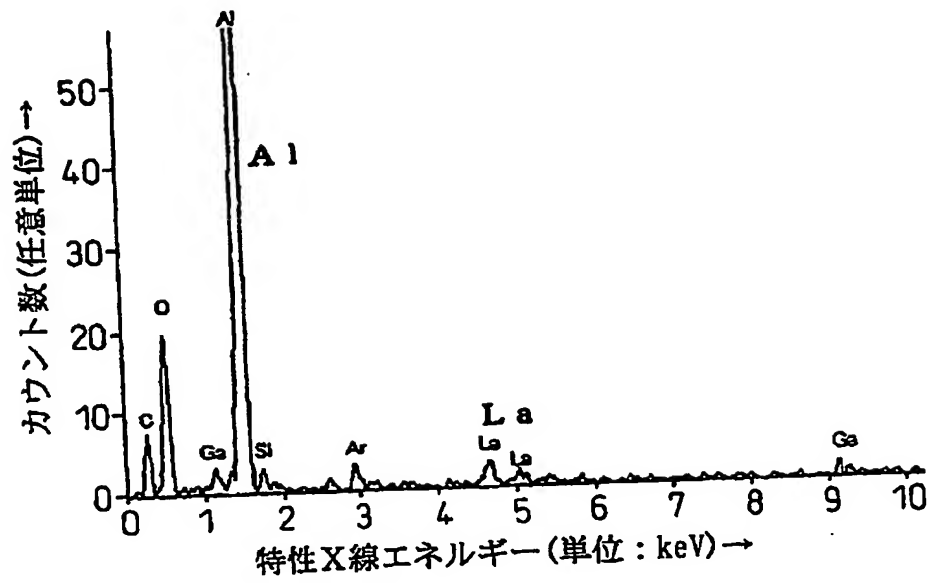


【書類名】

図面

【図1】

図1



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.